

ГДЕ НАХОДИТСЯ УГЛЕРОД И ЧТО ОН ДЕЛАЕТ ПРИ ПЕРЛИТНОМ И МАРТЕНСИТНОМ ПРЕВРАЩЕНИЯХ В СТАЛЯХ?

Крапошин В.С

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, kraposhin@gmail.com

Высокая растворимость углерода в аустените (около 9 ат. %) необъяснима с точки зрения общепринятого представления о размещении атома углерода в октаэдрической пустоте ГЦК-решетки. Отношение атомных радиусов углерода и железа составляет 0,613, т.е. диаметр атома углерода почти на 50% превышает диаметр октаэдрической поры в структуре аустенита (0,414 диаметра атома железа). Разница диаметров углерода и октаэдрической поры в 50% невыносима для кристаллической решетки (плавление соответствует увеличению длины межатомных связей на 10%) уже при малых концентрациях углерода. На основании термодинамических представлений давно показано [1], что при размещении углерода в одном октаэдрическом междоузлии пять других междоузлий искажаются настолько, что не могут быть заняты углеродом. Не случайно, что все существующие теории мартенситного превращения в сталях вообще не рассматривают роль и поведение углерода при превращении аустенита в мартенсит, ограничиваясь постулатом о бездиффузионном характере превращения. По умолчанию здесь предполагается неподвижность углерода при сплющивании правильного октаэдра ГЦК-решетки аустенита в искаженную октаэдрическую пору ОЦК-решетки. Но здесь высота октаэдрической поры составляет лишь 38,7 пм (разница между периодом решетки ОЦК-железа и диаметром атома железа) при диаметре углерода 154 пм, т.е. проблема размещения атома углерода усугубляется, а наблюдаемая тетрагональность мартенсита слишком мала, чтобы вообще что-нибудь понять.

Разрешить указанные противоречия можно, если учесть следующие экспериментальные факты: 1) пустота в призматической конфигурации атомов железа в кристаллической структуре цементита точно соответствует диаметру атома углерода в структуре алмаза; 2) периоды решеток аустенита и кубического алмаза очень близки (355,5 и 356,7 пм соответственно). Получить локальное призматическое окружение в ГЦК-структуре аустенита можно локальной переброской диагоналей ромбов, как это было предложено в геометрических моделях мартенситного превращения [2] по схеме кубооктаэдр (первая координационная сфера ГЦК-решетки)-икосаэдр-9-вершинник Бернала с присоединенным октаэдром (Рис.1,2).

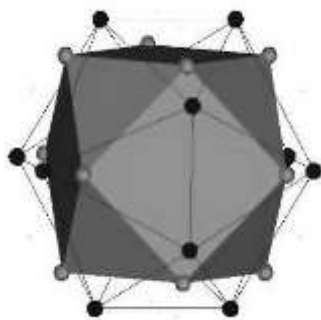


Рис.1. Преобразование кубооктаэдра ГЦК-решетки (зеленые вершины) в икосаэдр (синие вершины)

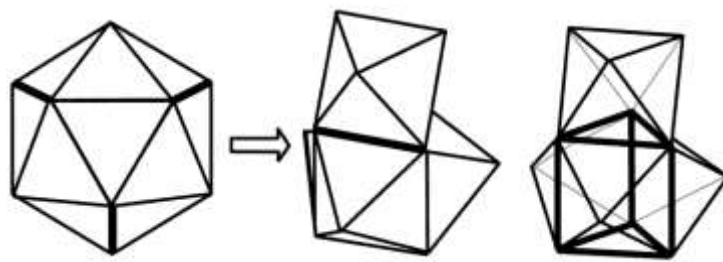


Рис.2. Переброска трех диагоналей ромба (жирные линии) переводит икосаэдр в 9-вершинный полиэдр Бернала (трехшапочная призма) с присоединенным октаэдром (для наглядности справа показан прозрачным)

Последовательное выполнение показанных реконструкций порождает в структуре аустенита стопку тригональных призм, объединенных по треугольным граням, т.е. двойник по плоскости (113), который, как показано в работе [2], не отличим от двойника в структуре феррита по плоскости (112). Множественное двойникование по плоскостям (113) аустенита и раздвойникование множественного двойника (112) в ОЦК-структуре и представляет собой механизм полиморфного (мартенситного) превращения. Такой механизм предписывает параллельность (113) аустенита и (112) феррита, а все известные ориентационные соотношения между мартенситом и аустенитом являются следствием этой параллельности. Плоскость двойникования аустенита (113) составляет лишь 4° с плоскостью габитуса мартенсита $(225)_A$, что также подтверждает модель микродвойникования.

Роль углерода при этих превращениях очевидна: поскольку пустая тригональная призма менее стабильна, чем октаэдр, и может реконструироваться в этот последний разворотом параллельных треугольных граней на 60° , углерод, попадая в центр призмы, стабилизирует ее. Соответствующей переброской ребер призматического двойника легко получить взаимное положение расположения призм, соответствующее структуре цемента. Поэтому предложенная схема перебросок является также и механизмом перлитного превращения [2], а наблюдаемая разница в продуктах превращения наряду со скоростью охлаждения определяется присутствием углерода.

Поведение углерода при этом подсказывается упомянутой выше близостью периодов решетки аустенита и алмаза. Поскольку в обоих случаях решетка гранецентрированная кубическая, имеет место равенство ребер октаэдров и тетраэдров, из которых сложена ГЦК-решетка. Значит, мы практически без искажений можем заменить тетраэдр, образованный

атомами железа, на тетраэдр, образованный атомами углерода, только этот тетраэдр будет центрирован атомом углерода (см. рис.3). При таком размещении мы получаем некоторый синтез раствора замещения и раствора внедрения. В этом случае искажения решетки аустенита минимальны и высокая растворимость углерода в аустените становится понятной. Реконструкция кубооктаэдров и октаэдров ГЦК-решетки выполняется вдоль стержня $\langle 111 \rangle$, поэтому одно из ребер алмазной связи

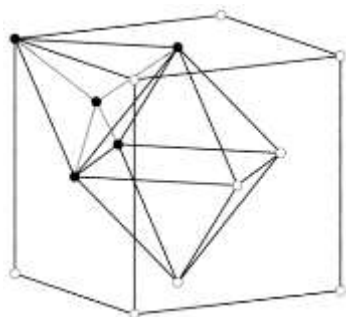


Рис.3. Размещение углеродного кластера (темные кружки) в элементарной ячейке аустенита

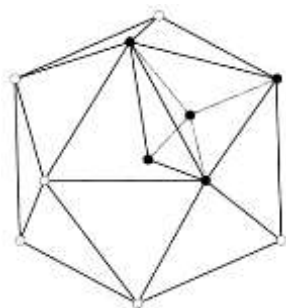


Рис.4. Размещение углеродного кластера в икосаэдре после реконструкции кубооктаэдра аустенита

C-C, параллельное $\langle 111 \rangle$, и направленное к центру икосаэдра (Рис.4), разрезается при вращении граней, один из атомов углерода захватывается призмой, второй захватывается присоединенным к призме октаэдром, этот последний под действием возникших напряжений реконструируется в призму, и т.д. в виде волны превращения вдоль $\langle 111 \rangle$ с образованием двойника по $\{113\}$ аустенита, стабилизированного цепочкой атомов у углерода в призмах (возможно, будущий мидриб в мартенситной пластине). Предлагаемое размещение углерода прямо подтверждается данными ЯГР-спектроскопии, которые указывают на расположение углерода в аустените в виде двух скрещенных под углом 90° пар [3].

1. Могутнов Б.М., Томилин И.А., Шварцман Л.А., Термодинамика железоуглеродистых сплавов, М.: Металлургия, 1972. 328 с.
2. Крапошин В.С., Сильченко А.Д., МиТОМ. 2008. №11. С.28-36.
3. Gavriljuk V.G., J. Phys. IV France, 112 (2003) 51-59.